

Exactitud del índice de masa corporal en la predicción de la adiposidad medida por impedanciometría bioeléctrica

Fernando Carrasco N., Eliana Reyes S., Olga Rimler S., Francisca Rios C.

Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Santiago - Chile, Facultad de Medicina, Universidad de Los Andes, Santiago de Chile - Chile

RESUMEN. El objetivo del estudio fue determinar la exactitud del IMC para diagnosticar obesidad y su capacidad de predecir la masa grasa corporal en una población de adultos chilenos. En 433 mujeres (18-73 años; IMC:19,7-69,7 kg/m²) y 264 hombres (18-83 años; IMC:19,1-54,8 kg/m²), se midió la resistencia por bioimpedanciometría y se calculó el porcentaje de masa grasa (%MG), aplicando las ecuaciones de Segal según adiposidad. Se definió obesidad con un IMC \geq 30 kg/m², y exceso de adiposidad con un %MG \geq 25% en hombres y \geq 30% en mujeres. Un 60,4% de las mujeres y 23,6% de los hombres con IMC < 30 kg/m² presentaron un %MG \geq 30 y \geq 25%, respectivamente. Según análisis de sensibilidad vs. especificidad, un IMC de 26 kg/m² en mujeres y de 30 kg/m² en hombres se aproxima mejor a los puntos de corte de adiposidad. Las ecuaciones para predecir adiposidad son: %MG mujeres = $0,96 \cdot \text{IMC} + 0,154 \cdot \text{edad} + 1,44$ ($r^2=0,75$; error estándar 3,8%); %MG hombres = $0,99 \cdot \text{IMC} + 0,141 \cdot \text{edad} - 9,914$ ($r^2=0,66$; error estándar 4,4%). La diferencia entre la medición y estimación del %MG mostró una gran dispersión de valores, con un intervalo de ± 2 ds de 7,5 %MG en mujeres y 8,8 %MG en hombres. El IMC de 30 kg/m² muestra una baja sensibilidad para identificar individuos con exceso de masa grasa, especialmente en mujeres. En este estudio el IMC muestra una baja confiabilidad para estimar adiposidad a nivel individual, particularmente en hombres y cuando el IMC es menor de 30 kg/m².

Palabras clave: Índice de masa corporal, masa grasa corporal, impedanciometría, obesidad.

SUMMARY. Predictive accuracy of body mass index in estimating body fatness measured by bioelectrical impedance. The aim of this study was to determine the performance of body mass index (BMI) for the diagnosis of obesity and as a predictor of body fatness in adult Chilean subjects. We conducted a study in 433 women (18-73 years old; BMI: 19.7 to 69.7 kg/m²) and 264 men (18-83 y.; BMI: 19.1 to 54.8 kg/m²). Bioelectrical resistance was measured by impedance method and fat mass percent (FM%) was calculated by fatness-specific equations developed by Segal et al. Obesity was defined as a BMI of at least 30 kg/m². Increased fatness was defined by the FM% cut-off points of at least 25% for men and at least 30% for women. Sixty-four percent of women and 23.6% of men with BMI below 30 kg/m² had FM% higher than 30% and 25%, respectively. A value of BMI of 26 kg/m² in women and 30 kg/m² in men had the best agreement to the cut-off points of fatness according to sensitivity vs. specificity analysis. The following equations were developed to predict individual fatness: women FM% = $0.96 \cdot \text{BMI} + 0.154 \cdot \text{age} + 1.44$ ($r^2=0.75$; standard error 3.8%); men FM% = $0.99 \cdot \text{BMI} + 0.141 \cdot \text{age} - 9.914$ ($r^2=0.66$; standard error 4.4%). Differences between measured and predicted FM% presented a wide variation, with a range of ± 2 sd of 7.5% in women and 8.8% in men. The commonly used value of BMI \geq 30 kg/m² as a cut-off point for obesity does not have adequate sensitivity and specificity for the screening of increased fatness subjects, specially in women. In this study BMI shows a low reliability as a predictor of individual body fatness, particularly in men and in subjects with a BMI below 30 kg/m².

Key words: Body mass index, body fat mass, bioelectrical impedance, obesity.

INTRODUCCION

La obesidad es una enfermedad crónica caracterizada por un aumento en la masa grasa corporal, con una fuerte asociación con hipertensión arterial, dislipidemia, diabetes tipo 2, cardiopatía isquémica y algunos tipos de cáncer (1).

Para el diagnóstico de sobrepeso u obesidad se han utilizado habitualmente los índices de peso en relación a la estatura, debido a que el incremento en la grasa corporal se acompaña usualmente de un aumento en el peso corporal total. El índice

de masa corporal de Quetelet (IMC: peso/estatura²), ha sido definido por la OMS (1), y la NIH (2), como el parámetro para el diagnóstico de sobrepeso y obesidad, considerando la buena correlación que éste tiene con adiposidad (3), y su fuerte asociación epidemiológica con mortalidad y morbilidad asociada a obesidad (4,5). Sin embargo, la exactitud del IMC para estimar la composición corporal es discutible (6-8), siendo afectada por el sexo, raza y edad, lo cual puede conducir a una mala clasificación de la condición de obesidad (9). Es así como individuos diagnosticados como normales según IMC

pueden tener un porcentaje de masa grasa elevado (falsos negativos), y otros diagnosticados como obesos por un $IMC > 30$ pueden tener un porcentaje de grasa dentro de límites normales (falsos positivos).

Algunos investigadores han demostrado que el IMC estima inadecuadamente el porcentaje de masa grasa al utilizar diferentes técnicas de medición de composición corporal, tales como densitometría por inmersión (10,11), medición de agua corporal total por deuterio (12), o impedanciometría bioeléctrica (6,13,14), y que los puntos de corte para definir la obesidad de acuerdo al porcentaje de masa grasa, corresponden a valores de IMC inferiores a 30 kg/m^2 , tanto en poblaciones predominantemente caucásicas (11-13), como en distintos grupos raciales asiáticos (14,15).

El presente estudio se desarrolló para determinar la exactitud del IMC para diagnosticar correctamente obesidad y su capacidad de predecir la adiposidad medida por impedanciometría bioeléctrica.

MATERIAL Y METODOS

Sujetos

Se estudió a 433 mujeres (65 normopeso, 157 con sobrepeso y 211 con obesidad), y 264 hombres (23 normopeso, 87 con sobrepeso y 154 con obesidad), mayores de 18 años. Los controles (C), fueron sujetos voluntarios sanos con IMC entre $18,5$ y $24,9 \text{ kg/m}^2$. La muestra de individuos con sobrepeso ($IMC 25-29,9 \text{ kg/m}^2$), y obesidad (IMC igual o mayor a 30 kg/m^2), fue obtenida entre los consultantes a un programa de tratamiento de obesidad, en los cuales se midió la composición corporal por impedanciometría previo al inicio del plan de reducción de peso.

Evaluación antropométrica y de composición corporal

Se midió el peso (kg), utilizando una balanza de palanca (Detecto®), con una precisión de $0,1 \text{ kg}$., y la estatura (m), con un cartabón adosado a la balanza, para calcular el índice de masa corporal ($IMC = \text{kg/m}^2$). Se midió la composición corporal mediante impedanciometría bioeléctrica (16,17), con un impedanciómetro tetrapolar de monofrecuencia (50 kHz), Biodynamics modelo 310 (Biodynamics Corp. Seattle, Washington, USA). Se solicitó al paciente no haber ingerido alcohol, café, ni bebidas cafeinadas el día anterior al examen, así como abstenerse de actividad física intensa y encontrarse en ayuno por al menos 6 horas. Con el sujeto en decúbito se colocaron electrodos en la mano derecha, en posición distal, 1 cm . sobre los nudillos y proximal inmediatamente sobre el extremo distal del cúbito, y en el pie derecho 1 cm . sobre los ortijos (electrodo distal), y en la zona media de la línea que une los maléolos lateral y medial (electrodo proximal). En estas condiciones se obtuvo una medición de la resistencia

(R). La masa libre de grasa (MLG) y el porcentaje de masa grasa (%MG) fueron calculados aplicando las ecuaciones de Segal específicas según adiposidad (18):

- mujeres delgadas: $MLG \text{ (kg)} = 6,4602 (T^2) - 0,01397 (R) + 0,42087 (P) + 10,43485$
- mujeres obesas: $MLG \text{ (kg)} = 9,1186 (T^2) - 0,01466 (R) + 0,2999 (P) - 0,07012 (E) + 9,37938$
- hombres delgados: $MLG \text{ (kg)} = 6,6366 (T^2) - 0,02117 (R) + 0,62854 (P) - 0,1238 (E) + 9,33285$
- hombres obesos: $MLG \text{ (kg)} = 8,858 (T^2) - 0,02999 (R) + 0,42688 (P) - 0,07002 (E) + 14,52435$

Dónde: T, talla (m); R, resistencia (ohms); P, peso (kg); E, edad en años.

En sujetos no claramente delgados ni obesos (IMC entre 25 y 30 kg/m^2), se aplicó el valor promedio de las 2 ecuaciones, según el método recomendado por Stolarczyk y cols. (19), para poblaciones heterogéneas. Estas ecuaciones han sido validadas con densitometría con el mayor tamaño muestral de una población heterogénea ($n=1567$), con un amplio rango de edad ($17-62$ años), y %MG ($3-56\%$). Además, han sido revalidadas en población caucásica ($20-21$), multirracial e hispana ($22,23$), al compararlas con mediciones más directas de composición corporal (ej. densitometría, DEXA, deuterio).

Definición de obesidad según porcentaje de masa grasa

Para el diagnóstico de obesidad según adiposidad se utilizaron como puntos de corte un %MG igual o mayor de 25% en hombres (9, 24), o igual o superior a 30% en mujeres (13).

Análisis estadístico

Todos los parámetros son expresados como promedio y desviación estándar ajustados por edad. Se confeccionaron tablas de sensibilidad y especificidad para distintos puntos de corte de IMC, independientes en hombres y mujeres, para luego graficar en curvas R.O.C. (Receiver Operator Characteristic). Se fijó el mejor punto de corte como aquel IMC más cercano al ángulo superior izquierdo de la gráfica de la curva ROC (25). Se efectuó análisis de regresión simple y multivariado entre el %MGs (variable dependiente), y el IMC y edad (variables independientes), y el %MG estimado por las ecuaciones de regresión se comparó con el %MG medido con el análisis de Bland y Altman, con límites de concordancia en ± 2 desviaciones estándar del residual (26). Se utilizó el programa estadístico Jandel Sigma Stat, versión 2.0 (Copyright® 1995, Jandel Corp.), y un nivel de significancia de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Las características de los sujetos estudiados se muestran en la Tabla 1. Un 49% de las mujeres y 58% de los hombres presentan un IMC igual o mayor de 30 kg/m². Ninguna mujer con IMC > 30 kg/m² presenta un %MG inferior a 30%, en cambio 29 de 154 hombres (19%) con IMC > 30 kg/m² presentan un %MG inferior a 25%. Por otro lado, un 60,4% de las mujeres y 23,6% de los hombres con IMC < 30 kg/m², tienen un %MG que los califica como obesos según el criterio de adiposidad (>30% y >25 %MG, respectivamente).

TABLA 1
Características generales y composición corporal de la población estudiada

Variable	Mujeres (n=433)			Hombres (n=264)		
	Promedio	DS	Rango	Promedio	DS	Rango
Edad (años)	36,4	11,9	18 - 73	36,3	12,1	18 - 83
IMC (kg/m ²)	30,7	6,1	19,7 - 69,7	31,7	5,7	19,1 - 54,8
MLG (kg)	48,2	6,4	33,8 - 79,9	68,9	9,7	40,2 - 106,8
% MG	36,5	7,6	18,5 - 56,3	26,7	7,6	9,1 - 40,5
Resistencia (ohms)	468	90,5	269 - 842	413	73,0	243 - 733

IMC: índice de masa corporal; MLG: masa libre de grasa; % MG: porcentaje de masa grasa.

En la Tabla 2 se muestra la sensibilidad y especificidad de distintos puntos de corte de IMC para diagnosticar obesidad según el criterio de adiposidad descrito. El menor IMC en el cual se detectan casos con obesidad según %MG determinado por impedanciometría es 22 y 26 kg/m² en mujeres y hombres, respectivamente (100% de sensibilidad). El menor IMC sobre el cual todos los casos corresponden a obesidad según %MG es 30 y 37 kg/m² en mujeres y hombres, respectivamente (100% de especificidad).

El análisis de las curvas ROC (Figuras 1 y 2), muestra que el IMC es más adecuado para discriminar adiposidad en mujeres (Figura 1), que en hombres (Figura 2), considerando el criterio de mayor área bajo la curva o de la curva más cercana al punto de sensibilidad y especificidad de 100%. El IMC con mejor equilibrio entre sensibilidad y especificidad está alrededor de 26 kg/m² en mujeres (sensibilidad= 90,1%; especificidad= 92,6%), y cercano a 30 kg/m² en hombres (sensibilidad= 82,8%; especificidad= 81,2%).

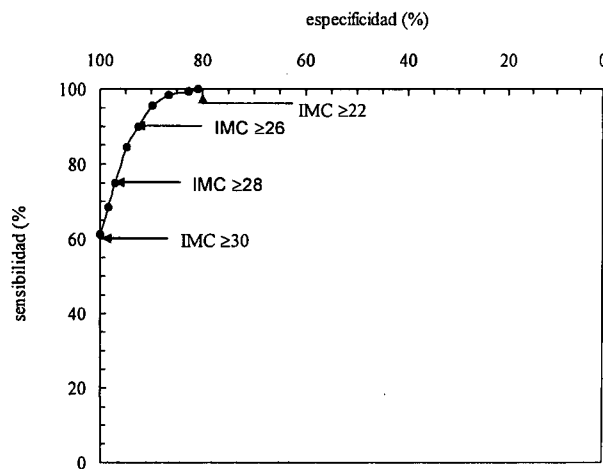
TABLA 2

Sensibilidad y especificidad de distintos puntos de corte de índice de masa corporal (IMC), para diagnosticar obesidad usando como criterio la adiposidad medida por impedanciometría

IMC (kg/m ²)	Mujeres		Hombres		Especificidad
	Sensibilidad	Especificidad	IMC (kg/m ²)	Sensibilidad	
22	100,0	81,0	26	100,0	65,1
23	99,4	82,7	27	98,0	66,4
24	98,3	86,5	28	95,4	70,6
25	95,7	89,7	29	89,4	75,8
26	90,	92,6	30	82,8	81,2
27	84,3	94,8	31	73,5	83,5
28	75,1	97,0	32	66,2	88,5
29	68,4	98,3	33	59,6	90,9
30	61,2	100,0	34	49,0	94,9
			35	40,4	96,8
			36	32,5	98,0
			37	26,5	100,0

Sensibilidad: proporción positivos verdaderos (adiposidad aumentada), correctamente identificados por IMC; Especificidad: proporción de casos identificados por IMC que son positivos verdaderos.

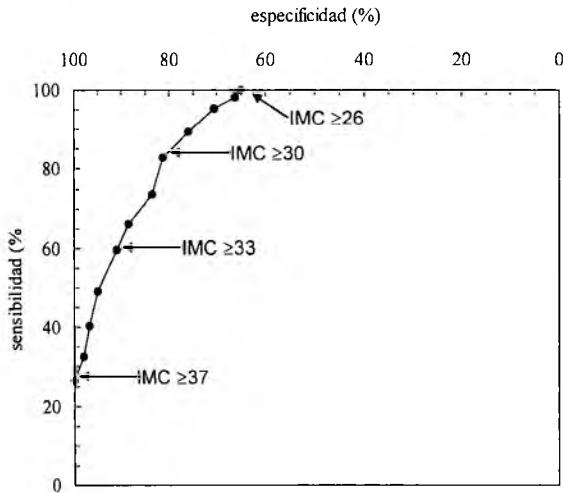
FIGURA 1
Curva ROC (Receiver Operator Characteristic), para el índice de masa corporal (IMC) como indicador de obesidad en mujeres



Estimación de la adiposidad

Las ecuaciones de regresión con mayor coeficiente de correlación para estimar el porcentaje de masa grasa son aquellas que incluyen el IMC y la edad como variables independientes y separadas por sexo: en mujeres %MG= (0,959*IMC) + (0,154*edad) + 1,44 (r²=0,75; error estándar=3,76); en hombres %MG=(0,993*IMC) + (0,141*edad)- 9,914 (r²=0,66; error estándar=4,41).

FIGURA 2
Curva ROC (Receiver Operator Characteristic),
para el índice de masa corporal (IMC), como indicador
de obesidad en hombres



En las Figuras 3 y 4 se analizan según Bland-Altman las diferencias entre el %MG medido y el valor estimado por ecuaciones de regresión en hombres y mujeres, respectivamente. La dispersión de los residuales (diferencia entre medición y estimación), es mayor en hombres que en mujeres (2 DS= 8,8 vs 7,5 %MG, respectivamente), y disminuye a mayor IMC tanto en hombres como en mujeres.

FIGURA 3
Diferencia entre el porcentaje de masa grasa medido
por impedanciometría (%MG), y el valor estimado
según índice de masa corporal y edad en 264 hombres

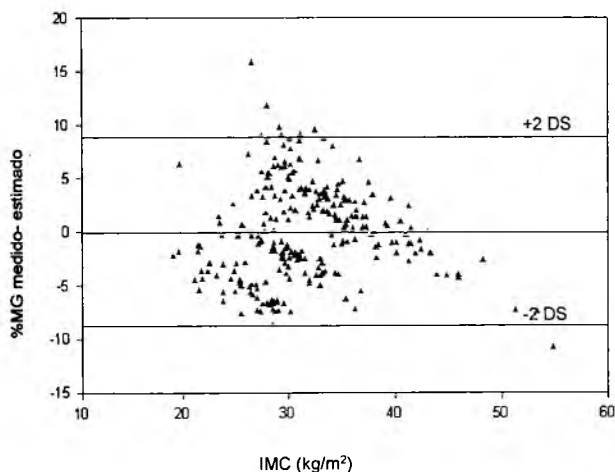
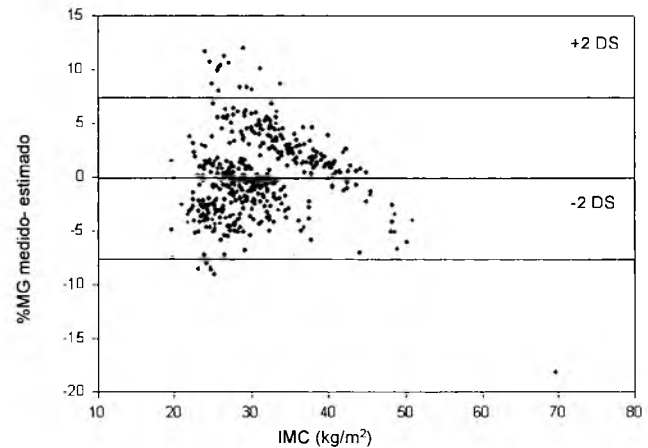


FIGURA 4
Diferencia entre el porcentaje de masa grasa medido
por impedanciometría (%MG), y el valor estimado
según índice de masa corporal y edad en 433 mujeres



Numerosos estudios muestran que el índice de masa corporal puede inducir a errores en la predicción de la adiposidad a nivel individual. Algunos sujetos, especialmente hombres, pueden ser clasificados como obesos con el cálculo de un IMC igual o mayor de 30 kg/m², siendo que presentan un porcentaje de masa grasa medido menor al valor máximo sugerido de 25% (falsos positivos). Esta circunstancia se observa en un 33% de los hombres evaluados por Wellens y cols. mediante densitometría por inmersión (11). En nuestra serie alrededor de 19% de los hombres con IMC igual o mayor de 30 kg/m² presentan un %MG menor de 25%. Esta discordancia entre el IMC y el porcentaje de masa grasa puede explicarse en parte por las diferencias en la composición corporal relacionadas con el nivel de actividad física o con factores raciales. Al respecto, Ross y cols. (27), han observado que a un nivel determinado de IMC la masa grasa total y abdominal, evaluada por pliegues cutáneos y circunferencia de cintura, es menor en sujetos con mayor grado de entrenamiento cardiorespiratorio. Estas observaciones han sido confirmadas recientemente en el estudio de Janssen y cols. (28), con menores valores de masa grasa corporal total medida por densitometría por inmersión, y de grasa abdominal subcutánea y visceral evaluada por tomografía computada, en mujeres y hombres con mayor nivel de entrenamiento cardiorespiratorio. Es probable que en sujetos con mayor nivel de actividad física, un aumento en la masa magra contribuya parcialmente al exceso de peso y a un mayor índice de masa corporal.

Por otro lado, una proporción importante de mujeres con IMC menor de 30 kg/m² tienen un %MG por sobre los niveles aceptables. Entre las mujeres con IMC menor de 30 kg/m², un 88% tienen un %MG igual o superior a 33% en el

estudio de Wellens y cols. (11), y un 46% presenta un %MG mayor de 30% en el análisis de Frankenfield y cols. (13). En nuestra muestra esta situación se observa en cerca de 60% de las mujeres, confirmando la noción de que en mujeres la obesidad debiera diagnosticarse con algún punto de corte de IMC menor a 30 kg/m².

Puntos de corte según índice de masa corporal versus porcentaje de masa grasa

A nivel colectivo existe concordancia entre diversos estudios en que el punto de corte para el IMC en 30 kg/m² corresponde a niveles de adiposidad muy elevados, especialmente en mujeres. En un estudio multicéntrico publicado por Gallagher y cols. (29), en el cual se estimó el %MG por un método de 4 compartimentos, se observó que un IMC de 30 kg/m² corresponde a un %MG de 39% o más en mujeres caucásicas y afroamericanas mayores de 20 años. El mismo estudio muestra una concordancia entre el IMC de 30 kg/m² y un %MG de 25% en hombres. En la muestra analizada por Frankenfield y cols. (13), en 141 adultos entre 18 y 78 años, el IMC de 30 kg/m² concordó con un %MG medido por impedanciometría de alrededor de 39% en mujeres y 28% en hombres. En nuestro estudio el mismo punto de corte se relacionó con un %MG de \pm 36% en mujeres y 25% en hombres. El cálculo inverso se puede efectuar para determinar a que IMC corresponde el %MG máximo aceptable según sexo. En esta serie un %MG menor a 30% en mujeres corresponde a un IMC menor de 24 kg/m².

El análisis de las curvas R.O.C. es concordante en señalar al IMC de 30 kg/m² como el punto de corte adecuado para discriminar un exceso de adiposidad en hombres, aún cuando su sensibilidad y especificidad es relativamente baja (\pm 83 y 81%, respectivamente).

En mujeres el análisis de la curva R.O.C. muestra que un IMC de alrededor de 26 kg/m² ofrece el mejor equilibrio entre una alta sensibilidad y especificidad (\pm 90 y 93%, respectivamente). Un IMC de 24 kg/m², que se ajusta según la ecuación de regresión a un %MG de 30% en mujeres, presenta una gran sensibilidad (98%), pero con una baja especificidad que implicaría diagnosticar a muchas mujeres falsamente como obesas.

Predicción del porcentaje de masa grasa a partir del IMC

La estimación del %MG a través de ecuaciones predictivas que incluyan el IMC, la edad y el sexo como variables independientes ha sido analizada por distintos investigadores, dando origen a ecuaciones lineales (29,30) o cuadráticas (13). En nuestro estudio se observó que las variables independientes con mayor peso estadístico para predecir el %MG en un análisis multivariado fueron el IMC y la edad. Este resultado es concordante con la apreciación de los distintos autores (9,30). La confiabilidad de una ecuación predictiva se puede obser-

var, previo a una validación externa, observando el error estándar de la regresión o a través del análisis de Bland-Altman. Las ecuaciones obtenidas en nuestro estudio presentan una correlación aceptable (r^2 de 0,75 en mujeres y 0,66 en hombres), con un error estándar de \pm 3,8% de MG en hombres y 4,4% en mujeres. El análisis de diferencias entre el %MG medido y el valor estimado por fórmula muestra una gran dispersión de los residuales especialmente en hombres (2 desviaciones estándar \approx 9% de MG), y en sujetos con IMC menor de 30 kg/m². Lo anterior le resta valor a estas ecuaciones en su aplicación práctica para predecir la adiposidad a nivel individual. Esta baja exactitud del IMC para predecir el porcentaje de masa grasa puede explicarse en parte, como se discutió previamente, por diferencias en la composición corporal relacionadas con el nivel de actividad física o con factores raciales.

Limitaciones del estudio

La validez de las mediciones de masa grasa corporal mediante impedanciometría surge como una de las principales limitaciones del presente análisis. La predicción de la masa grasa se basa en la relación matemática inversa entre la resistencia del cuerpo a la conducción de una corriente eléctrica de muy baja intensidad y el contenido de agua corporal o masa libre de grasa medidos por alguna técnica de alta confiabilidad (deuterio o densitometría por inmersión). Es importante que la ecuación de predicción de masa grasa seleccionada sea la más apropiada para el grupo de sujetos a estudiar (31), esto significa que su origen sea de una población semejante a aquella en que va a ser aplicada o de una población suficientemente heterogénea (raza, edad e IMC), para ser utilizable universalmente. Las ecuaciones que proveen los equipos se han originado de estudios en poblaciones caucásicas, probándose posteriormente su validez en otras poblaciones. En general se ha encontrado una buena correlación entre el %MG estimado por estas ecuaciones y las mediciones por otros métodos como la densitometría por inmersión o dilución isotópica con deuterio (17), aunque los análisis de concordancia muestran una subestimación sistemática de la masa grasa en sujetos obesos (32). La expansión del compartimento de agua extracelular en obesos da la falsa información de incremento en la masa libre de grasa y una menor estimación de la masa grasa (33). Esta subestimación puede originarse en parte por la aplicación de ecuaciones cuya población estudiada se compone de un escaso número de sujetos obesos, y podría disminuirse el error con el uso fórmulas apropiadas para obesos como las de Segal y cols. (18). En un análisis de variadas ecuaciones para estimar el %MG en mujeres obesas, Fuller y cols. (34), encontraron un error entre -6,7% y +7,8%, con el menor error al utilizar las ecuaciones de Segal ($0,1 \pm 6,5\%$). Estas ecuaciones tienen la ventaja adicional de incluir a sujetos en un amplio rango de edad y, para nuestro estudio, haber sido validadas

en población hispana (22).

Aún asumiendo que exista una subestimación del %MG en sujetos obesos, este error tendería a enmascarar los resultados obtenidos y su corrección tendería a desplazar el punto de corte de IMC hacia un valor más bajo.

CONCLUSIONES

Las mediciones de masa grasa derivadas del análisis de impedanciometría muestran una baja sensibilidad del IMC de 30 para identificar a individuos con exceso de adiposidad. En hombres se observa una concordancia entre un IMC de 30 y el valor máximo desable de masa grasa, pero en mujeres un nivel aceptable de adiposidad se observa con valores de IMC mucho más bajos (< 26 kg/m²). El IMC muestra en este estudio una baja confiabilidad para predecir la adiposidad de un individuo, especialmente en hombres y cuando el IMC es menor de 30 kg/m².

REFERENCIAS

- World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation on obesity. Geneva, June 3-5, 1997. Geneva: WHO, 1998.
- US Department of Health and Human Services. Clinical Guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults: the evidence report. Washington DC: US DHHS, 1998.
- Bray GA. Contemporary Diagnosis and Management of Obesity 1998. Pennsylvania, USA. Handbooks in Health Care Co. 1998.
- Allison DB, Fontaine KR, Manson JE, Stevens J, Van Itallie TB. Annual deaths attributable to obesity in the United States. *JAMA* 1999; 282:1530.
- Must A, Spadano J, Coakley EH, Field AE, Colditz G, Dietz WH. The disease burden associated with overweight and obesity. *JAMA* 1999; 282:1523.
- Roubenoff R, Dallal GE, Wilson PWF. Predicting body fatness: the body mass index vs. estimation by bioelectrical impedance. *Am J Public Health* 1995; 85 (5): 726-728.
- Smalley KJ, Knerr AN, Kendrick ZV, Colliver JA, Owen OE. Reassessment of body mass indices. *Am J Clin Nutr* 1990; 52 (3): 405-408.
- Revicki DA, Israel RG. Relationship between body mass index and measures of body adiposity. *Am J Public Health* 1986; 76 (8): 992-994.
- Baumgartner RN, Heymsfield SB, Roche AF. Human body composition and the epidemiology of chronic disease. *Obes Res* 1995; 3 (1): 73-95.
- Hortobagyi T, Israel RG, O'Brien KF. Sensitivity and specificity of the Quetelet index to assess obesity in men and women. *Eur J Clin Nutr* 1994; 48 (5): 369-375.
- Weillens RI, Roche AF, Khamis HJ, Jackson AS, Pollock ML, Siervogel RM. Relationships between the body mass index and body composition. *Obes Res* 1996; 4 (1): 35-44.
- Piers LS, Soares MJ, Frandsen SL, O'Dea K. Indirect estimates of body composition are useful for groups but unreliable in individuals. *Int J Obes* 2000; 24(9): 1145-1152.
- Frankenfield DC, Rowe WA, Cooney RN, Smith JS, Becker D. Limits of Body Mass Index to Detect Obesity and Predict Body Composition. *Nutrition* 2001; 17 (1): 26-30.
- Ko GT, Tang J, Chan JC, Sung R, Wu MM, Wai HP, et al. Lower BMI cut-off value to define obesity in Hong Kong Chinese: an analysis based on body fat assessment by bioelectrical impedance. *Br J Nutr* 2001; 85 (2): 239-42.
- Deurenberg-Yap M, Schmidt G, Van Staveren WA, Deurenberg P. The paradox of low body mass index and high body fat percentage among Chinese, Malays and Indians in Singapore. *Int J Obes* 2000; 24 (8): 1011-1007.
- Kushner RF. Bioelectric impedance analysis: a review of principles and applications. *J Am Coll Nutr* 1992; 11 (2): 199-209.
- Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996; 64 (suppl): 436S-448S.
- Segal KR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgson JA, Van Itallie TB. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. *Am J Clin Nutr* 1988; 47 (1): 7-14.
- Stolarczyk LM, Heyward VH, Van Loan MD, Hicks VL, Wilson WL, Reano LM. The fatness-specific bioelectrical impedance analysis equations of Segal et al: are they generalizable and practical?. *Am J Clin Nutr* 1997; 66 (1): 8-17.
- Gray DS, Bray GA, Gemayel N, Kaplan K. Effect of obesity on bioelectrical impedance. *Am J Clin Nutr* 1989; 50 (2): 255-260.
- Ross R, Leger L, Martin P, Roy R. Sensitivity of bioelectrical impedance to detect changes in human body composition. *J Appl Physiol* 1989; 67 (4): 1643-1648.
- Stolarczyk LM, Heyward VH, Goodman JA, Grant DJ, Kessler KL, Kocina PS, Wilmerding V. Predictive accuracy of bioelectrical impedance in estimating fat-free mass of Hispanic women. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27 (10): 1450-1456.
- Stolarczyk LM, Heyward VH, Hicks VL, Baumgartner RN. Predictive accuracy of bioelectrical impedance in estimating body composition of Native American women. *Am J Clin Nutr* 1994; 59 (5): 964-970.
- Bray GA. Fat distribution and body weight. *Obes Res* 1993; 1 : 203-206.
- Identificación de los casos de enfermedad: Clinicometría y diagnóstico. En: Jenicek M, ed. Epidemiología: La lógica de la medicina moderna. Maason, S.A. 1996, Barcelona, España, Pag.: 79-120.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1 (8476): 307-310.
- Ross R, Katzmarzyk PT. Cardiorespiratory fitness is associated with diminished total and abdominal obesity independent of body mass index. *Int J Obes* 2003; 27 (2): 204-210.
- Janssen I, Katzmarzyk PT, Ross R, Leon AS, Skinner JS, Rao DC, Wilmore JH, Rankinen T, Bouchard C. Fitness alters the association of BMI and waist circumference with total and abdominal fat. *Obes Res* 2004; 12 (3): 525-537.

29. Gallagher D, Heymsfield SB, Heo M, Jebb S, Murgatroyd PR, Sakamoto Y. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index. *Am J Clin Nutr* 2000; 72 (3): 694-701.
30. Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age and sex specific prediction formulas. *Br J Nutr* 1991; 65 (2): 105-114.
31. Jebb SA. Measuring Body Composition: from the Laboratory to the Clinic. En: Kopelman PG & Stock MJ (eds) *Clinical Obesity*, pp. 18-49. London: Blackwell Science Ltd. Blackwell Science (UK), 1998.
32. Wang ZM, Deurenberg P, Guo SS, Pietrobelli A, Wang J, Pierson RN, Heymsfield SB. Six-compartment body composition model: inter-method comparison of total body fat measurements. *Int J Obes* 1998; 22 (4): 329-337.
33. Deurenberg P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr* 1996; 64 (suppl): 449S-452S.
34. Fuller N, Sawyer M, Elia M. Comparative evaluation of body composition methods and predictions, and calculation of density and hydration of fat-free mass, in obese women. *Int J Obes* 1994; 18 (7): 503-512.

Recibido: 04-09-2003

Aceptado: 16-07-2004